

Prof. dr hab. inż. Marek Lefik
Politechnika Łódzka
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska
Katedra Geotechniki i Budowli Inżynierskich
Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź.

Łódź, 19 maja 2018 roku.

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr inż. Piotra Cichockiego
„Analiza współpracy fundamentu płytowo-palowego z podłożem
gruntowym z uwzględnieniem oporu pobocznic i podstawy pala
wywołanych osiadaniem”

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą opracowania recenzji jest Uchwała Rady Wydziału Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Szczecińskiej oraz pismo w tej sprawie od Pani Dziekan, profesor dr hab. inż. Marii Kaszyńskiej z dnia 19 marca 2018 r.

2. Przedmiot oceny

Przedmiotem oceny jest rozprawa doktorska napisana przez mgr inż. Piotra Cichockiego pod tytułem „Analiza współpracy fundamentu płytowo-palowego z podłożem gruntowym z uwzględnieniem oporu pobocznic i podstawy pala wywołanych osiadaniem”. Praca ta powstała w Katedrze Geotechniki WBiA Politechniki Szczecińskiej. Promotorem pracy jest profesor dr hab. inż. Zygmunt Meyer.

Praca liczy 179 stron, jest podzielona na 9 rozdziałów, ilustrują ją 168 rysunków i wykresów oraz 21 tabel. Spis literatury zawiera 112 pozycji, w tym trzy dokumenty normowe. Spis skrótów i oznaczeń umieszczono na początku rozprawy, streszczenia w języku angielskim i polskim – na końcu.

3. Ogólna charakterystyka rozprawy, ocena trafności doboru jej tematu i tytułu.

Praca podejmuje ważne zagadnienie analizy teoretycznej fundamentu płytowo-palowego. W szczególności analizowany jest problem współpracy płyty fundamentowej z grupą pali w przekazywaniu obciążenia na podłoże. Posadowienie tego typu stosowane jest w wielu

warunkach gruntowych, jako optymalne zarówno w aspekcie użytkowym, jak i ekonomicznym, łącząc zalety i właściwości konwencjonalnych rozwiązań, to znaczy fundamentów bezpośrednich i palowych.

Zdaniem recenzenta, zagadnienie to wciąż uważane jest za otwarte z naukowego punktu widzenia. Rozdział przenieszonego na grunt obciążenie pomiędzy pale i płytę jest często dyskutowanym w literaturze zagadnieniem. Powstaje na ten temat wciąż bardzo wiele prac. Z inżynierskiego punktu widzenia wciąż nie jest jasne, jakie zalecenia projektowe i wymagania normowe są tu obowiązujące.

Uważam, że wybrana tematyka rozprawy jest ważna z naukowego i teoretycznego punktu widzenia.

W zagadnieniach modelowania numerycznego interakcji grunt – budowla, nawet w odniesieniu do skomplikowanych struktur fundamentowych jak posadowienie na palach i współpracującej z nimi płyty, panuje współcześnie przekonanie, że zastosowanie dostępnych dziś, wyrafinowanych metod numerycznych opartych na którymkolwiek z istniejących lub rozwijanych w uczelniach kodzie metody elementów skończonych jest wystarczające dla zbudowania wiarygodnego modelu współpracującej z gruntem, złożonej struktury inżynierskiej. Zdaniem recenzenta tej rozprawy, w mechanice gruntów takie modelowanie dalekie jest jeszcze od automatyzmu właściwego podobnym modelom w innych dziedzinach mechaniki. Można tu zacytować wiele problemów specyficznych dla mechaniki gruntów, które wciąż nie są zadowalająco rozwiązane i prowadzą do modeli numerycznych obciążonych licznymi wadami. Rozwiązania te są często dalekie od rzeczywistości. W pracy nie ma wyraźnej krytyki i listy trudności związanych z bezpośrednim zastosowaniem istniejących kodów metody elementów skończonych czy też innych rozwiązań przybliżonych. Jednak, jak się wydaje, Autor rozprawy nie traktuje tych rozwiązań, jako recepty na rozwiązanie każdego problemu inżynierskiego, zwłaszcza w mechanice gruntów i fundamentowania.

Przedstawione rozwiązanie oparte jest na badaniach teoretycznych Promotora pracy, Jego współpracowników, w tej liczbie – Doktoranta, w ramach których wprowadzono kilka istotnych i specyficznych dla mechaniki gruntów koncepcji opisujących interakcję grunt - budowla. Są to, przede wszystkim: opis matematyczny interakcji gruntu z fundamentem z uwzględnieniem stref aktywnych płyty i pali, odpowiadających miąższości podłoża ulegającego odkształceniu pod wpływem obciążenia oraz wykorzystanie krzywej obciążenie-osiadanie z testu statycznego pala w pełnym zakresie, do analizy krzywej obciążenie-osiadanie pala pracującego w grupie pod płytą. Jest to krzywa Meyera-Kowalowa. Te dwie, rozwijane w środowisku szczecińskim idealizacje specyficzne dla mechaniki gruntów są, moim zdaniem, decydujące dla powodzenia przedstawionego w pracy modelu.

Wybór tematyki doktoratu i strategii modelowania podporządkowanej tym dwóm koncepcjom jest również słuszny i właściwy, jako cenna kontynuacja oryginalnych strategii badawczych.

W świetle tego, co napisano powyżej, tytuł pracy wydaje się niewystarczająco podkreślać oryginalność przyjętego podejścia. Sformułowanie „...z uwzględnieniem oporu poboczniczy i podstawy pala wywołanych osiadaniem” zawęża i trywializuje przedstawioną metodę. Nie jest to, oczywiście, zarzut obniżający wartość pracy jednak już w tytule powinny się pojawić „słowa – klucze” określające specyfikę rozwijanego modelu aby zwrócić uwagę potencjalnego czytelnika.

Charakteryzując rozprawę ogólnie trzeba podkreślić prawidłowość jej formalnej konstrukcji, na którą składa się bardzo obszerny, zorientowany tematycznie wstęp opisujący dotychczasowe osiągnięcia w budowaniu modeli koncepcyjnie podobnych, kolejno – przedstawienie modelu będącego treścią doktoratu, następnie jego walidacja przez porównanie wyników obliczeń z pomiarami rzeczywistych osiadań fundamentów płytowo-

palowych (zaczepniętych z literatury wyników badań terenowych osiadań podpór estakady drogowej oraz dwóch zbiorników), na koniec dyskusja właściwości modelu oparta na analizie serii przykładów jego zastosowań. Pracę kończy lista wniosków oraz opis dalszych badań, jako perspektywy rozwoju opracowanego modelu matematycznego.

Konkludując – uważam, że praca dotyczy ważnego tematu praktycznego, ciekawego z akademickiego punktu widzenia, rozwiązanie jest rozwinięciem oryginalnych koncepcji, praca napisana jest prawidłowo z formalnego punktu widzenia, w tym sensie, że zawiera wszystkie elementy wymagane od rozprawy doktorskiej.

4. Szczegółowa analiza treści rozprawy i jej ocena merytoryczna

4.1. Rozdział pierwszy zawiera uzasadnienie podjęcia tematu, przeprowadzone zarówno z punktu widzenia mechaniki gruntów, praktycznych zagadnień fundamentowania, jak i z punktu widzenia roli nauki w rozwoju gospodarczym społeczeństwa. Przedstawione są tu oczekiwane korzyści wynikające z zaproponowanych rozwiązań. Autor przedstawia swoją pracę, jako użyteczny element dyskusji poprawiającej stosowalność istniejących rozwiązań w dziedzinie projektowania fundamentów palowo-płytowych.

4.2. Rozdział drugi zawiera sformułowanie ogólne przedmiotu rozważań. Formuluje się cel pracy, jakim jest zbudowanie modelu matematycznego fundamentu płytowo-palowego.

Tezę pracy sformułowano następująco:

„Istnieje możliwość wykorzystania z dostateczną dla celów praktycznych dokładnością krzywej obciążenie-osiadanie z testu statycznego pala w pełnym zakresie N_2 -s, do analizy krzywej obciążenie-osiadanie pala występującego w grupie pali pod płytą.

Przy analizie geotechnicznych warunków posadowienia fundamentów płytowych na palach istotną rolę pełni uwzględnienie faktycznej współpracy pala z gruntem oraz sprężystych własności płyty.”

Powtórna lektura tego rozdziału, po zapoznaniu się z całą rozprawą, pozwala stwierdzić, że zapowiedziane w nim treści odpowiadają zawartości pracy. Mimo braku formalnego dowodu, teza pracy została, mim zdaniem, wykazana. Należy stwierdzić, że (jak to ma miejsce w większości współczesnych prac doktorskich pisanych w dyscyplinach technicznych) raczej realizacja celu pracy (opracowanie i walidacja modelu obliczeniowego) niż wykazanie tezy stanowi o wartości pracy. Jak się wydaje – formułowanie tezy pracy w tym przypadku jest konstrukcją sztuczną, spełniająca nieco skostniałe wymogi akademickie. Formułowanie celu pracy zamiast tezy pracy jest ogólniejsze i bardziej naturalne we współczesnej nauce, zwłaszcza w dyscyplinach technicznych.

W punkcie trzecim tego wstępnego rozdziału przedstawiono układ pracy oraz jej zawartość, jak się wydaje – w kolejności problemów nieco innej niż kolejność rozdziałów pracy.

4.3. W rozdziale trzecim przedstawiono w sposób syntetyczny opis obecnego stanu wiedzy na temat modelowania interakcji grunt-fundament płytowo-palowy.

Przegląd ten jest uporządkowany w ten sposób, że Autor wybiera i omawia wybrane prace z punktu widzenia strategii modelowania, jaką przyjął w doktoracie. Wobec tego, omawiane są raczej te prace, w których analizuje się oddzielnie wzajemne oddziaływania elementów układu grunt - fundament płytowo-palowy. Oddziaływania te są orientacyjnie wymienione i zilustrowane na początku rozdziału na rys. 3.1. **Sam termin „wzajemne oddziaływania” nie został starannie zdefiniowany ani tu, ani nigdzie dalej.** Rysunek sugeruje równość akcji i reakcji pomiędzy elementami układów (zszycie naprężeń). Niestety, nic nie jest powiedziane o zgodności przemieszczeń pomiędzy elementami układu grunt – fundament.

Trzeba przyjąć domyślnie, że kontakt jest wszędzie idealny. Na początku rozdziału wymienione są trzy strategie kształtowania fundamentu płytowo-palowego, omawiane są te podejścia i ich modyfikacje na kilku stronach rozdziału. W dalszej części przytoczono przegląd 4 metod uproszczonych projektowania fundamentu płytowo-palowego oraz 16 metod numerycznych, z których kilka zakłada zastosowanie narzędzi obliczeniowych takich jak Metoda Elementów Skończonych (MES) lub Metoda Różnic Skończonych (MRS). Najważniejsze prace przedstawiono w układzie chronologicznym. Następnie wymieniono i krótko przedyskutowano kilkanaście ważniejszych prac poświęconych badaniom modelowym. Przedstawiono kolejno kilkanaście ważnych przykładów zastosowania badań in situ, jako podstawy projektowania fundamentu płytowo-palowego. Przegląd stanu wiedzy trzeba uznać za obszerny i wyczerpujący.

4.4. Rozdział czwarty zawiera autorski opis matematyczny zjawiska współpracy płyty, pali i ośrodka gruntowego. W tytule rozdziału a także w podtytułach powinno być dodane, że chodzi o współpracę płyty i pali z gruntem. Podtytuł 4.1. brzmi zbyt ogólnie, powinno być zaznaczone, że chodzi tu o autorski opis matematyczny zaproponowany przez Doktoranta. Rozdział podzielony jest na siedem podrozdziałów. W pierwszym sformułowano ogólną strategię modelowania polegającą na zdefiniowaniu wzajemnych wpływów elementów modelu: płyty, pobocznicy pala i podstawy pala za pośrednictwem ośrodka gruntowego modelowanego jako ośrodek sprężysty, ciągły (przenoszący również naprężenia rozciągające). Płyta i pale są sprężyste. Istotnym uproszczeniem (nie dyskutowanym krytycznie w pracy) jest przyjęcie stałego obciążenia płyty. Naprężenie w gruncie opisuje w pracy odpowiednio modyfikowany wzór (4.2) wynikający z teorii Boussinesq'a. Założenia idealizujące sytuację fizyczną wymieniono w podrozdziale 4.2, kolejne rozdziały poświęcono omówieniu osiadania sprężystej płyty na podłożu uwarstwionym, osiadania pojedynczego pala, osiadania pali w grupie zwieńczonych sprężystą płytą, osiadania sprężystej płyty na podłożu uwarstwionym i palach. Wszystkie idealizacje prowadzące do obliczania odpowiednich osiadań pod działaniem kolejnych rodzajów naprężeń wynikają bezpośrednio z przyjętego modelu ośrodka ciągłego i sprężystego. Konsekwencje tych założeń łagodzone są przez wprowadzenie koncepcji aktywnej strefy oddziaływania oraz fenomenologicznych danych o zachowaniu się pala w gruncie (obciążenie-osiadanie na wykresie MK). Jak się wydaje, wykresy naprężeń szkicowo przedstawionych na rysunkach 4.4, 4.9, 4.11, 4.12 całkowane są także powyżej punktu przyłożenia siły. W całkach tych moduł odkształcenia gruntu jest niezależny od poziomu naprężenia ani od głębokości. **Założenia te nie są wystarczająco wyraźnie skomentowane. Nie jest jasne, co oznacza χ we wzorze (4.6). W przypadku, gdy pal osadzony jest w ośrodku warstwowym wymaganym parametrem jest średnia arytmetyczna modułów odkształcenia gruntu wzdłuż pobocznicy pala. Czy nie lepszym przybliżeniem byłaby tu średnia ważona?**

W ostatnim podrozdziale przedstawiono sposób rozwiązania problemu. Algorytm opiera się na kolejnych iteracjach prowadzących do ustalenia się naprężeń kontaktowych na granicy płyta-grunt. Należy raczej domyślać się, że reakcje te są wyznaczone: przez rozwiązanie metodą różnic skończonych równania płyty Winklera, w którym sztywności gruntu k_{ij} są zmienne oraz z równania (4.45). Kluczem do wyznaczenia k_{ij} jest tu również równanie (4.45) i równanie (4.46). **W schemacie algorytmu nie jest wyraźnie napisane z których równań korzysta się na kolejnych etapach.**

4.5. Rozdział piąty ma na celu porównanie przewidywań wyprowadzonego modelu matematycznego układu płyta – pale – ośrodek sprężysty z danymi pomiarowymi dotyczącymi obiektu fizycznego będącego rzeczywistą strukturą fundamentową płytowo-palową posadowioną na rzeczywistym gruncie. Muszę zacząć od wątpliwości metodyczno –

terminologicznej: jestem przekonany, że porównanie przewidywań modelu teoretycznego z odpowiednimi pomiarami wykonanymi na rzeczywistym obiekcie modelowanym określane jest terminem „validacja modelu”. Weryfikacja to raczej stwierdzenie, czy model spełnia założenia i równania, które powinien spełniać. To nie zawsze jest tautologią. Wobec tego, tytuł rozdziału powinien zapowiadać raczej validację modelu. Co więcej, zwykle validacja modelu poprzedzona jest równoległe z jego kalibracją, to znaczy takim dobraniem parametrów modelu, że pewna klasa obserwacji jest spełniona możliwie dobrze. Validacja dotyczy wtedy porównania przewidywań modelu z innymi obserwacjami, które nie były brane pod uwagę przy kalibracji. Tej procedury można było dotrzymać. W modelu jest wiele parametrów, które mogą być ustalane w sposób mniej arbitralny (stałość parametrów gruntu, elementy krzywej MK i inne). Doktorant dysponował trzema (a nawet pięcioma) przykładami, ten zbiór można było podzielić na dwie części: kalibrującą i walidującą. W mojej opinii jest to prawidłowy proces modelowania, zwłaszcza w tak trudnej dziedzinie jak geotechnika. Do porównania wykorzystano geodezyjne pomiary osiadań fundamentów na palach. W treści rozdziału, dla każdego przypadku przedstawiono sytuację geotechniczną, jej idealizację, wyniki obliczeń osiadań i porównanie ich z osiadaniami pomierzonymi. Zgadzam się z Doktorantem, że porównanie to okazało się korzystne dla zaproponowanego modelu, wyniki obliczone są bliskie pomierzonym. Nasuwa się tu ważne pytanie: **Czy da się sformułować wniosek (na podstawie tych porównań) dotyczący tego, czy obliczone przemieszczenia są po stronie „bezpiecznej”?**

4.6. W rozdziale szóstym, zatytułowanym „Przegląd systematyczny rozwiązania”, sprawdzono jak zachowuje się opracowany model dla kilku podstawowych zadań rozwiązywanych w mechanice gruntów i fundamentowania, dla których ocena jakościowa rozwiązania jest możliwa na drodze intuicyjnej bądź przy zastosowaniu innych metod. W tym wypadku nie stosowano innych metod obliczeniowych. Przeanalizowano następujące zagadnienia: sprężysta płyta na podłożu, sprężysta płyta na podłożu i pojedynczym palu oraz sprężysta płyta na podłożu i grupie pięciu pali. W rozdziale tym pokazano w jaki sposób przedstawiona teoria pozwala analizować sztywności podpór gruntowych, zasięg strefy aktywnej płyty, osiadania pala i ugięcia płyty, mobilizację oporu poboczniczy i podstawy pala oraz oszacować rozdział reakcji na obciążenie pomiędzy płytę a pale. W zasadzie wyniki przedstawione w tym rozdziale są zgodne z intuicją. **Chciałbym poznać opinię Doktoranta czy drastyczny skok grubości strefy aktywnej przy krawędziach płyty da się interpretować fizycznie.**

4.7. W rozdziale siódmym przedstawiono zastosowanie opracowanej metody w sytuacji, gdy nie jest znana zależność obciążenie osiadanie dla pala w formie krzywej MK. W celu rozwiązania tego problemu wykorzystano zależności autorstwa Meyera umożliwiające oszacowanie parametrów krzywej MK, bazujące na wynikach badań podłoża. Obliczenia zachowania fundamentów palowych i płytowo-palowych przeprowadzono dla takich samych fundamentów jakie posłużyły validacji modelu matematycznego rozdziale piątym pracy.

4.8. Rozdział ósmy jest ostatnim rozdziałem merytorycznym, zawiera wnioski końcowe. Ich sformułowanie jest logicznym wynikiem zawartości kolejnych rozdziałów. Zgadzam się z konkluzjami, jakie Doktorant w tym rozdziale proponuje. Uważam, że tezy pracy zostały wykazane.

5. Dyskusja

Autor dysertacji rozwiązuje problem, w którym niemal na każdym kroku przyjmuje się idealizacje teoretyczne bardzo radykalne, nieraz dalekie od rzeczywistości fizycznej. Oceniana praca nie pozostawia wątpliwości, że Doktorant zdaje sobie sprawę z przybliżeń opisu konstytutywnego i innych licznych uproszczeń, które wprowadza. Oczywiście, moje interpretacje niektórych rozbieżności pomiędzy modelem numerycznym a obrazem rzeczywistości fizycznej mogą być inne niż Autora pracy, jednak uznałem, że tam, gdzie nie znajdują wyraźnych uchybień w warsztacie intelektualnym i numerycznym, nie powinienem proponować innych interpretacji. Dotyczy to przede wszystkim rozdziału piątego.

Chciałbym jednak przedyskutować kilka problemów dotyczących dysertacji.

Interesuje mnie związek opracowanego modelu z innymi, które są dobrze znane. Jak się wydaje, model płyty opisany równaniem (4.1) dla stałej sztywności gruntu k , kojarzony jest z nazwiskiem Winklera, jednak to nazwisko nie pojawia się w pracy. Podobnie, jak pamiętam, uwzględnienie w każdym z punktów pod płytą wpływu każdego innego elementu płyty prowadzi do zmiennej sztywności Winklera i wprowadzone zostało po raz pierwszy przez Żemoczkiną (Жемочкина Б.Н., *Теория упругости*, Гострой издат, Москва 1957). Czy istnieje jakaś ważna różnica pomiędzy tymi modelami klasycznymi a stosowanymi w rozprawie?

Jak napisałem w punkcie 3. recenzji, Doktorant rzadko odwołuje się do modeli budowanych metodą elementów skończonych, które w środowisku inżynierskim przyciągają uwagę, jako standardowe narzędzie modelowania zagadnień mechaniki, w tym mechaniki gruntów i fundamentowania. Jeśli już – odwołania te nie przedstawiają słabych i mocnych stron tej techniki w zastosowaniach geotechnicznych. Oczywiście, praca nie dotyczy tej metody rozwiązywania zagadnień mechaniki fundamentu palowo-płytowego, jednak naturalne jest pytanie użytkowników programów MES, dlaczego Autor zrezygnował z pełnego automatyzmu tej metody. Wydaje się przecież, że dyskretyzacja ośrodka gruntowego i obszaru fundamentu automatycznie zapewnia wzięcie pod uwagę wpływu wzajemnego wszystkich elementów struktury grunt-fundament na wszystkie inne. Chciałbym, aby Doktorant przedyskutował ten problem, kierując się następującymi dwoma pytaniami szczegółowymi:

- jakie problemy tradycyjnego modelowania MES ośrodka złożonego z pala, płyty i gruntu rozwiązuje uwzględnienie w opracowanym modelu krzywej M-K obciążenie-osiadanie wziętej z testu statycznego pala?
- jakie problemy tradycyjnego modelowania MES ośrodka złożonego z pala, płyty i gruntu rozwiązuje uwzględnienie w opracowanym modelu koncepcji stref aktywnych w obszarach bliskich płycie i palom?

Wiadomo, że przybliżone metody klasyczne, bazujące na minimalizacji odpowiednich funkcjonałów prowadzą do rozwiązań, które zbliżają się do rozwiązania dokładnego z góry lub z dołu. Czy można stwierdzić z pewnością, z której strony proponowana w rozprawie metoda przybliża rozwiązanie?

Kolejny problem, który wymaga, moim zdaniem, komentarza to zagadnienie realistycznej oceny zdolności gruntu do „realizacji” liniowo sprężystej reakcji na płytę, określonej obliczonymi liczbami wpływowymi składającymi się na sztywność gruntu pod płytą. Niewątpliwie należy tu uniknąć sytuacji, gdy na pewnym obszarze pod płytą kontakt płyta-grunt następuje dopiero po wyczerpaniu pewnej pustki, która może w praktyce wystąpić pomiędzy gruntem a dolną powierzchnią płyty. Krańcowo odmienna jest sytuacja, gdy grunt będzie ściskany siłami bardzo dużymi pod dolną powierzchnią płyty. Na stronie 90. Napisano: „Założono, że grunt jest w stanie przenieść obliczone naprężenia w poziomie

posadowienia”. Czy można sobie wyobrazić, że wystąpi jakaś forma utraty nośności gruntu pod płytą? Pod krawędzią płyty?

W wyprowadzeniu wzorów proponowanej metody liczbę warstw gruntu ograniczono do trzech. Jak postąpiono w przypadku, gdy układ warstw geotechnicznych w przykładach ilustrujących metodę był skomplikowany (np. na Rys. 5.2)?

Nic nie napisano o gęstości siatki różnic skończonych w zadaniach przykładowych. Czy badano zbieżność rozwiązania w funkcji wielkości oczka siatki MRS? Jeśli tak, to w jaki sposób?

Wiele razy, w treści pracy, Autor dzieli modele matematyczne na modele „przybliżone” i „szczegółowe”. Na przykład, pisząc: „...Prezentowany model matematyczny zaliczany do metod przybliżonych, umożliwia względnie sprawną w porównaniu z metodami szczegółowymi optymalizację posadowienia”. Do modeli szczegółowych Autor zalicza np. MES, która jest oczywiście metodą przybliżoną. Proszę o komentarz w tej sprawie. Ponadto, w zacytowanym zdaniu zawarto stwierdzenie, z którym trudno się zgodzić: sformułowanie autorskiej metody zawiera wiele wariantów związanych, na przykład, z długością pali itp. W zagadnieniu modelowania pracy istniejącej konstrukcji – nie stanowi to problemu, jednak w procesie optymalizacji zaowocuje nieliniowościami trudnymi do rozwiązania.

W trakcie merytorycznej analizy kolejnych rozdziałów przedstawiłem kilka uwag, które łatwo znaleźć w tekście opinii (**zapisano je czcionką pogrubioną**), nie będę więc ich powtarzał w tym punkcie.

6. Uwagi edytorskie i inne.

Praca napisana jest starannie, błędy edytorskie i stylistyczne są nieliczne, nie wymagają wymieniania w recenzji. Strona graficzna pracy jest opracowana czytelnie. Rysunki są czytelne i dobrze ilustrują wyniki pracy.

Podtrzymuję tu stwierdzenie, że praca jest prawidłowo skomponowana, jednak moim zdaniem rozdział ilustrujący działanie metody na prostych układach płyta-pal powinien poprzedzać rozdział poświęcony walidacji uzyskanych rozwiązań przez porównanie ich z pomierzonymi wartościami przemieszczeń zrealizowanych konstrukcji.

Odczuwam również wyraźny brak głębszego omówienia sposobu kreślenia krzywej M-K obciążenie-osiadanie na podstawie testu statycznego pala oraz koncepcji stref aktywnych w obszarach sąsiadujących z płytą i palem. Można było, moim zdaniem, wyeliminować dwa przykłady rozwiązań historycznych i raczej, zamiast nich, starannie omówić te dwa zagadnienia ważne dla konstrukcji modelu autorskiego.

7. Podsumowanie i wniosek końcowy

Oryginalnym osiągnięciem naukowym mgr inż. Piotra Cichockiego jest opracowanie procedury modelowania pracy fundamentu płytowo-palowego, wykorzystującej dane dotyczące współpracy pala z podłożem w postaci krzywej MK ustalonej na podstawie badań in situ. Wykonano walidację wyników obliczeń przeprowadzonych proponowaną metodą przez porównanie ich z przykładowymi pomiarami przemieszczeń dla przykładów rzeczywistych fundamentów palowo-płytowych.

Zgadzam się z większością stwierdzeń sformułowanych przez doktoranta w treści rozprawy. Uważam, że świadczą one o jego dojrzałości naukowej i umiejętności dokonania krytycznej i porównawczej analizy teorii naukowych, w tym tych, które tworzy. Jest to warunek rozwoju opracowanego modelu, stanowi też bardzo istotny przyczynek do praktyki modelowania zagadnień związanych ze współpracą konstrukcji i gruntu. Doktorant zna

metody rozwiązywania zagadnień inżynierskich w dziedzinie geotechniki, mechaniki gruntów i fundamentowania, potrafi posługiwać się literaturą naukową w swojej pracy badawczej.

Stwierdzam, że przedstawiona rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego dokonane przez Doktoranta, a także wskazuje na umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez jej Autora.

Rozprawa dotyczy dyscypliny naukowych „geotechnika”, „mechanika gruntów”. Autor wykazał się dobrą znajomością najważniejszych prac naukowych i inżynierskich związanych z tematem rozprawy doktorskiej, ogólną wiedzą teoretyczną z zakresu objętego tematem rozprawy oraz ogólną i specjalistyczną wiedzą teoretyczną związaną z wymienionymi wyżej dyscyplinami naukowymi.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Piotra Cichockiego spełnia wymagania „ustawy z dnia 14 marca 2003 r o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” oraz wnioskuję o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.



Marek Lefik